

中华鲟幼鱼摄食生物学和人工饲料问题*

梁旭方 何 炜 贺锡勤

(水利部中国科学院水库渔业研究所, 武汉 430073)

摘 要 本文用行为学和养殖试验及扫描和透射电镜观察研究了中华鲟 (*Acipenser sinensis* Gray) 幼鱼摄食行为、皮肤感觉器官和人工饲料问题。结果表明, 中华鲟幼鱼通过不停游动, 以吸吮方式摄食底质上的食物, 利用皮肤感觉对食物进行识别。吻部腹面存在大量的罗伦氏囊和少量Ⅰ型或Ⅱ型味蕾, 触须表面味蕾数量亦较少, 说明电觉是中华鲟幼鱼摄食的主要感觉器官, 而味觉和触觉作用较小。中华鲟幼鱼仅摄食活水蚯蚓, 而拒食鱼肉、鸡肝等动物性鲜饲料和人工配合饲料。本文对中华鲟幼鱼拒食人工饲料感觉机制及其驯食人工饲料问题进行了探讨。

关键词 中华鲟, 摄食行为, 皮肤感觉器官, 人工饲料

中华鲟 (*Acipenser sinensis* Gray) 是一种大型珍稀洄游性鱼类, 不仅经济价值极高, 而且在动物进化和鱼类学研究中亦有独特的科学价值^[1]。目前, 中华鲟人工繁育和放流技术日趋完善, 但苗种培育过程中必须同时培养大量天然活饵料 (主要是水蚯蚓), 不仅成本高而且难度大, 限制了中华鲟苗种养殖规模的发展^[2]。因此, 解决中华鲟幼鱼人工饲料问题已成为挽救及开发利用中华鲟这一宝贵生物资源的当务之急。

本文通过行为学和养殖试验及扫描和透射电镜观察研究了中华鲟幼鱼摄食生物学和人工饲料问题, 现简要报告如下。

材 料 与 方 法

中华鲟 (*Acipenser sinensis* Gray) 当年幼鱼取自湖北省宜昌县长江葛洲坝工程局中华鲟人工繁殖研究所。体长 3~4cm, 共 123 尾。

摄食行为和养殖试验先后在 2 个 120×50×50cm³ 水族箱和 1 个 1.5³ 圆柱形玻璃钢缸中进行。利用活性碳过滤曝气自来水饲养, 进排水通过注水管和出水管在水面进行。水温 19~21℃。每天定时投喂充足水蚯蚓并清污。试验周期 180 天。

吻部腹面皮肤感觉器官通过扫描电镜 (包括冷冻断裂扫描电镜) 和透射电镜观察。材料经 10%NaCl 反复冲洗除去污物和粘液后, 按常规扫描和透射电镜样品的制备法处理, 分别在日立 S-450 型扫描电镜和 JEM-100cx 型电镜下观察拍照。

* 肖慧高级工程师对本工作给予大力帮助, 谨致谢忱

结 果 与 讨 论

(一) 摄食行为观察

中华鲟幼鱼生性活泼, 无论个体大小均在池底不停缓慢游动, 受惊扰时速度加快, 甚至窜出水面。游动一般沿直线或非常平缓变化的曲线进行, 仅在与其它个体、池壁等相撞或接近碰撞时才调整游动方向。中华鲟幼鱼游动的动力来源于尾鳍的不停摆动, 胸鳍用于控制游动方向。当两侧胸鳍均处于水平位置时, 幼鲟沿直接前进; 当一侧胸鳍倾斜一定角度时, 阻力增大, 幼鲟即向该侧转向。由于胸鳍本身无动力作用, 这种转向仅能缓慢进行, 且不能依靠胸鳍向前摆动而使鱼体反向运动。因此, 中华鲟幼鱼不适于急剧改变运动方向, 不宜饲养于较小水体中, 亦不宜过分密养, 以避免幼鲟经常遭遇障碍物而被迫急剧改变运动方向。

中华鲟幼鱼口下位, 在池底游动时以吸吮方式摄食底质上的水蚯蚓。当水蚯蚓成团时, 幼鲟咬住水蚯蚓团的一部分而不能全部吞入, 则通过身体快速左右摆动而将水蚯蚓团分为二部分, 从而吞食咬进口中的部分。中华鲟幼鱼即使在人为驯化较长时间后, 亦不能抢食中上层正在下落的食物。

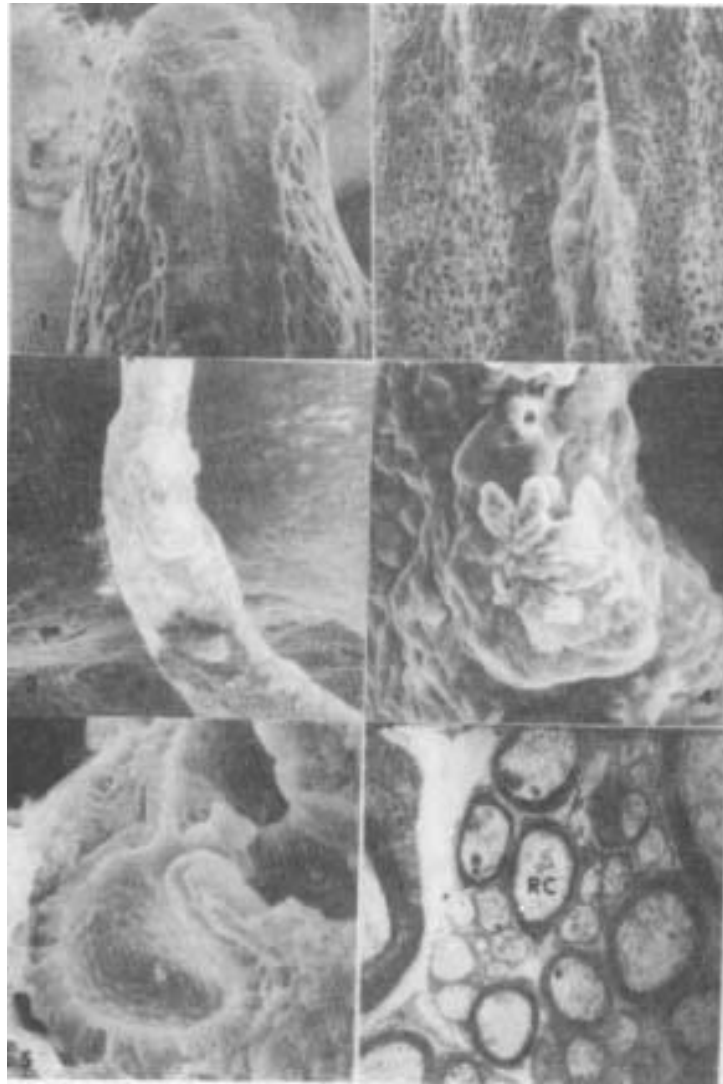
中华鲟幼鱼仅对吻部腹面下方很近距离的食物有摄食反应; 对头部两侧的食物无摄食反应, 即使食物的距离非常近; 对远距离食物无趋近行为。上述行为反应结果说明中华鲟幼鱼利用吻部腹面皮肤的近距离或接触型感觉器官识别食物, 而视觉、嗅觉等远距离感觉器官在摄食中作用不大。这与中华鲟幼鱼游动的不灵活性相适应。虽然中华鲟幼鱼吻部腹面皮肤感觉区域非常有限, 但是由于中华鲟幼鱼不停游动, 其感觉区域随着游动距离的延长而扩大, 从而能有效地发现食物。

(二) 皮肤感觉器官结构和功能

中华鲟幼鱼吻部腹面皮肤上存在大量的洼器官。一般 2-5 个洼器官形成一簇, 5-8 簇洼器官呈梅花样排列在一起。吻部腹面洼器官分布和大小呈现规律性变化: 边缘部分洼器官数量少而直径大; 中央部分绝大多数区域洼器官数量大而直径小; 中央部分正中线条窄区域洼器官没有分布 (图片 I: 1, 2)。冷冻断裂扫描电镜观察结果表明, 中华鲟幼鱼吻部腹面洼器官内部空腔不甚规则, 仅局限于开孔下方较小区域内, 腔底密布纤毛 (图片 I: 5)。中华鲟幼鱼洼器官管腔结构明显不同于鲨、鳐等软骨鱼类的罗伦氏囊系统。罗伦氏囊开孔虽然亦较广泛分布于这些种类的吻部腹面, 但腔底不局限于开孔附近而集中于鱼体特定区域, 之间通过细长小管相连^[3]。透射电镜观察结果表明, 中华鲟幼鱼洼器官底部感觉细胞呈梨形, 顶端仅具有一根纤毛 (图版 I: 6)。目前, 关于感觉细胞超微结构和感受功能的大量比较研究结果证明, 这种梨形的顶端具有单根纤毛的感觉细胞是电感觉细胞, 说明中华鲟幼鱼洼器官虽然管腔结构不同于软骨鱼类的罗伦氏囊系统, 但感觉细胞完全相同, 感觉功能上亦应属于罗伦氏囊电感觉器官^[4]。由于中华鲟幼鱼吻部腹面罗伦氏囊器官异常丰富, 可以认为应对电刺激信号非常敏感。

中华鲟幼鱼吻部腹面皮肤上存在少量 I 型或 II 型味蕾, 触须表面味蕾数量亦较少 (图版 I: 3, 4)。根据大量味蕾形态功能学研究结果, 现在认为这种顶孔突出的 I 型或 II 型味蕾除具有一般的化学感觉作用外, 同时尚具有机械感觉作用^[5]。由于中华鲟幼鱼吻部

图版 I (Plate I)



1. 吻部腹面, 示边缘部分味蕾数量少而直径大 (the ventral part of the snout, showing few large ampullae on the left and right parts) $\times 5$
2. 吻部腹面, 示中央部分味蕾数量大而直径小 (the ventral part of the snout, showing many small ampullae on the central part but none in the middle) $\times 15$
3. 触须上的2枚味蕾(two taste buds on the barbel) $\times 90$
4. 触须上1枚味蕾放大(an enlarged taste bud on the barbel) $\times 350$
5. 味蕾内部空腔, 底部覆盖感觉上皮 (the pore opens into dermal ampullae, the bottom of which is lined with a sensory epithelium) $\times 580$
6. 味蕾底部感觉上皮梨形单纤毛感觉细胞(the pearshaped receptor cell(RC) with single cilium in the sensory epithelium on the bottom of the ampullae) $\times 3300$

腹面和触须仅有少量 I 型或 II 型味蕾, 可以认为其味觉和触觉并不灵敏。

综上所述, 中华鲟吻部腹面皮肤具有发达的电感觉, 而味觉和触觉作用不强。中华鲟幼鱼仅能主要利用电觉识别食物, 而味觉和触觉不可能在摄食中起很大作用。中华鲟幼鱼的这种感觉特征与其摄食习性是非常适应的。中华鲟幼鱼主要在长江干流摄食底栖寡毛

类。由于江水混浊,水流湍急,视觉、化学感觉等均不易很好发挥作用。但流水冲刷使底栖寡毛类完全裸露于底质表面而其上不会再有覆盖物,虽然淡水导电率较弱,因中华鲟幼鱼游动觅食时吻部腹面皮肤与底质距离非常之近,仍可以十分有效地利用其上的大量罗伦氏囊电觉器官识别吻下裸露寡毛类产生的特征性生物电信号,然后,再利用吻后特性的下位口通过吸吮的方式进行摄食。

鲨、鳐等软骨鱼类已被证实完全利用罗伦氏囊电觉器官进行摄食。虽然它们的猎物(例如,比目鱼)隐身于细砂下,视觉、化学感觉等无法很好对猎物起作用,但由于海水导电率很强,电觉感受距离远,因而仍能有效的识别猎物产生的特征性生物电信号并诱导进行准确地攻击^[6]。

(三) 人工饲料问题

目前,中华鲟人工繁殖技术比较成熟,每年可孵化受精卵数十万尾以上,但人工培育中华鲟幼鱼成活率低,且生长缓慢,使人工放流中华鲟幼鱼数量和规格均未达到要求。美国著名鲟鱼营养专家 Hung, S.O.教授认为这很可能是由于中华鲟育苗饲料水蚯蚓营养不全造成的,特别是可能缺乏某些必需的高不饱和脂肪酸。四川省农科院水产研究所(1981)关于水蚯蚓饲养中华鲟幼鱼初步试验的结果表明,鲟幼鱼成活率高,达80%以上;生长十分迅速,增重达3.0-4.2g/日.尾;饲料转化效率高,饵料系数仅2.3-6.3。因此,认为葛洲坝截流后可通过人工方法大量培养水蚯蚓饲养中华鲟幼鱼^[7]。湖北省宜昌县中华鲟人工繁殖研究所肖慧(1993)通过多年中华鲟幼鱼人工培育实践和研究,亦认为中华鲟幼鱼的高死亡率与水蚯蚓作为育苗饲料无关,而主要是由水质等诸因子的综合作用造成的。

我们利用水蚯蚓饲养中华鲟幼鱼的试验结果见表1。结果表明,摄食水蚯蚓的中华鲟幼鱼生长快,日增重为 2.7 ± 0.2 g/日.尾,与四川省农科院水产研究所报道的结果基本一致;但饲料转化效率不很高,饵料系数为 6.6 ± 0.3 ,与四川省农科院水产研究所报道的结果差异较大。应当指出的是,两个试验中华鲟幼鱼始重和终重及饲养水温均非常接近。我们认为虽然利用水蚯蚓饲养中华鲟幼鱼增重较快,但由于饵料系数较高,水蚯蚓用量大且人工培育十分困难,因而解决中华鲟幼鱼人工饲料仍为当务之急。这亦为中华鲟人工繁殖研究所人工育苗实践所证实。试验中发现许多中华鲟幼鱼一开始即拒食水蚯蚓,日渐消瘦,并大量死亡。这说明鲟幼鱼高死亡率与水蚯蚓营养成分没有关系。但是,我们发现水温、化学药品等对中华鲟幼鱼的摄食、生长、成活率等影响均很大。

表1 水蚯蚓饲养中华鲟幼鱼生长与饲料转化效率

Table 1 Growth and feed conversion ratio of Chinese sturgeon juveniles fed *Tubifex* worms

始 重 Initial average body weight (g)	终 重 Final average body weight (g)	净 增 重 Average weight gain (g)	日 增 重 Daily weight gain (g/day)	增 重 率 Weight gain rate (%)	饵料系数 Feed conversion ratio
32.7 ± 5.7	133.1 ± 9.3	101.4 ± 3.6	2.7 ± 0.2	320 ± 50	6.6 ± 0.3

* 饲养水温 19-21℃ Stocking temperature was 19-21℃

我们对中华鲟幼鱼人工饲料的初步研究结果表明，鲟幼鱼对鱼糜、鱼糜+水蚯蚓糜、鸡肝糜、鸡肝糜+水蚯蚓糜、人工配合饲料等均不予摄食。若水蚯蚓未捣碎，则鲟幼鱼仅将它们从混合的其它组份中吸食干净而不摄食其它组份。中华鲟幼鱼拒食人工饲料可能是由于它们主要依靠电觉摄食，味觉不起决定作用，而人工饲料仅具有很好的味觉刺激因子，不存在特征性的食物电觉刺激信号，因此中华鲟幼鱼不予摄食。

高首鲟 (*Acipenser transmontanus*) 人工配合饲料驯化试验结果表明，从开食期即进行人工配合饲料驯化而从未摄食过水蚯蚓的高首鲟幼鱼很易驯化摄食人工配合饲料；而已经摄食过水蚯蚓的高首鲟幼鱼再驯化摄食人工配合饲料则非常困难^[8]。这可能是因为从开食期即进行人工配合饲料的驯化，人为地加大了味觉在鲟幼鱼摄食中的作用，使鲟幼鱼习惯于摄食仅具有味觉刺激因子的人工配合饲料。若中华鲟幼鱼味觉功能发育程度与高首鲟幼鱼相似，利用合适的人工配合饲料对开食期尚未摄食过水蚯蚓的中华鲟幼鱼进行驯化可望获得成功，这方面的工作急待开展。

参 考 文 献

- [1] 四川省长江水产资源调查组著，1988。长江鲟鱼类生物学及人工繁殖研究。成都：四川科学技术出版社。
- [2] 肖慧等，1988。中华鲟苗种培育技术的初步研究。水利渔业，(4)：24-29。
- [3] 朱元鼎、孟庆闻，1980。中国软骨鱼类的侧线管系统及罗伦瓮和罗伦管系统的研究。上海：上海科学技术出版社。
- [4] 四川省农科院水产研究所，1981。关于水蚯蚓饲养中华鲟幼鱼的初步试验。四川水产，(3)：15-21。
- [5] Jorgensen, J. M., 1989. Evolution of octavolateralis sensory cells. In *The Mechanosensory Lateral Line: Neurobiology and Evolution* (S. Coombs, P. Gerner, and H. Munz, eds), 115-145. New York: Springer-Verlag.
- [6] Hara, T. J. 1982. *Chemoreception in fish*. New York: Elsevier.
- [7] Hodgson E. S. and Mathewson, R. F., 1978. *Sensory biology of sharks, Skates and rays*. Washington, D. C: Government Printing Office.
- [8] Lindberg, J. C. et al., 1986. Effect of diet switch between natural and prepared foods on growth and survival of white sturgeon juveniles. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 115: 166-171.

ON THE FEEDING BEHAVIOUR, DERMAL SENSE ORGANS AND ARTIFICIAL DIETS OF CHINESE STURGEON JUVENILES

Liang Xufang He Wei He Xiqin

(Institute of Reservoir Fisheries, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430073)

ABSTRACT Investigations were made on the feeding behavior, dermal sense organs and artificial diets of juveniles of Chinese sturgeon, *Acipenser sinensis* Gray.

Chinese sturgeon juveniles fed by sucking in continuous and gentle motion on the

bottom. Dermal sense organs on the ventral part of the snout were observed to be responsible for food recognition in feeding.

Scanning and transmission electron microscopic studies revealed many electroreceptive Lorenzinian ampullae, and few chemoreceptive and mechanoreceptive taste buds or Type I or Type II on the ventral part of the snout and barbels. It indicates that electroreception may be the main sense organ utilized in the feeding behaviour of Chinese sturgeon juveniles and taste sense will not play important role.

Artificial diets of various kinds were tested on the Chinese sturgeons juveniles. The refusal of young Chinese sturgeons to wean off of live foods onto artificial diets were discussed with reference to the sensory basis of this fish in feeding.

KEYWORDS *Acipenser sinensis* Gray, Feeding behaviour, Dermal sense organs, Artificial diets